

水平板に垂直に衝突する水のJump現象について

中 川 孝 之

The Jump of Water Current colliding perpendicularly a Horizontal Plate.

Takayuki NAKAGAWA

When water collides with a circular plate and the current flows on the plate, it is known that the equation $U^2 = gh$ is established at the point of the jump produced by the current of the water. After experiments, the author has come to the conclusion that the relation among the quantity of water flow, the radius of the jump and the distance of the plate from the water jet may be calculated qualitatively. It is also seen that the radius of the plate affects on the radius of the jump.

1. 緒 言

水が平面上を流れる場合、水面上の流速が $U^2 = gh$ なる関係を満足する点で Jump する⁽¹⁾。従つてその様な点の軌跡は面の傾斜によつて、円形になつたり拋物線形の様になつたりする事は、水道の水によつて度々観察される。

著者は円形の水平板を用いた場合、流量と Jump する点の軌跡である円の半径の関係を実測し、その関係を検討した結果の報告する。

2. 実 験 方 法

水平板は直径 16cm, 14cm, 12cm, 8cm, 6cm のペークライト製円板を用いた。之は水が円板周辺から滴下する時の影響を考へて本材料を選んだ。

落下させる水流は水槽下部に硝子管を取り付け、管口からペークライト円板面までの距離は読取顕微鏡に附属させた針と微動尺度によりその高さを測る。この装置の略図は第1図のようである。

この場合硝子管の長さは 10cm, 内径 0.23cm のもので之より流出する流量の増減は、水槽内の水の head の高さにより知ることが出来る⁽²⁾。

先ず head の高さとペークライト円板上に拡がる水円の半径を吹き出し口からペークライト円板までの距離をparameterとして測定し、次に一定 head 即ち流量を一定にして、吹き出し口からペークライト円板までの距離と水円の半径の関係を求め、之が直径の夫々の円板についての関係を求め、更に円板の大きさと水円の半径の関係を求める。以下測定に必要な記号の意味をあたえる。

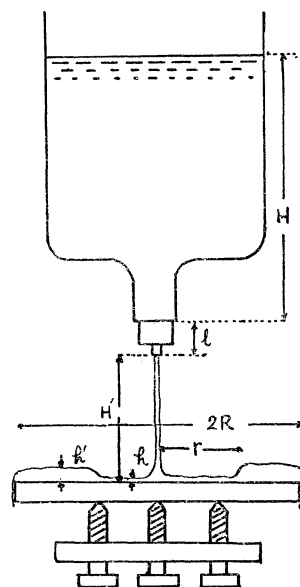
$H+l$ 吹き出し口から head までの高さ

H' 吹き出し口から円板までの高さ

r 水円の半径

h', h Jump した水円の後流の水の深さ及前流の水の深さ

$2R$ エポナイト円板の直径

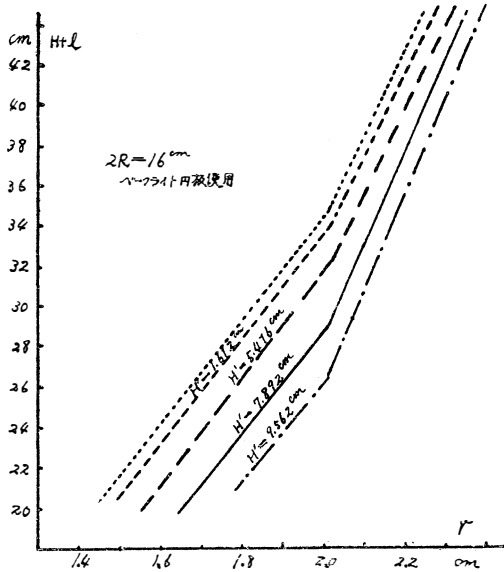


第 1 図

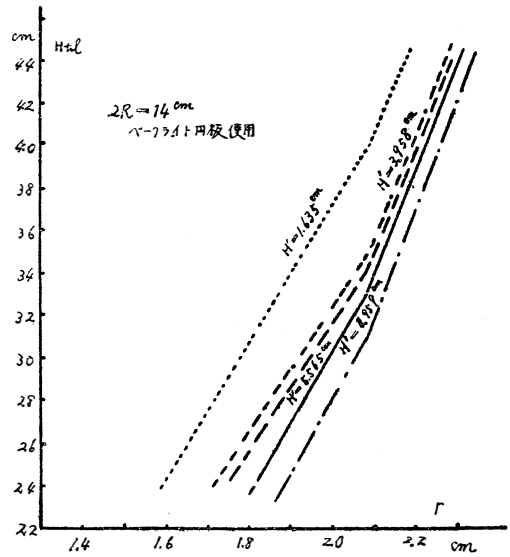
3 実験結果

(A) H' を parameter にした $H+l$ と r の関係

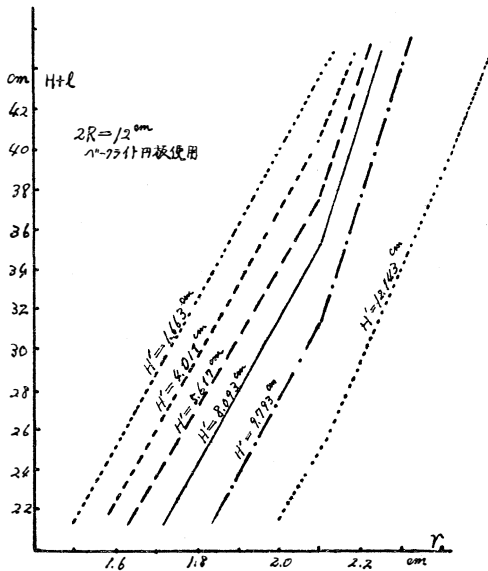
実験は冬期行つたため、日変化による水温の差が少く、水温 $6.9^{\circ}\sim 7.2^{\circ}\text{C}$ の範囲で行つた。温度変化による影響は略する。第2, 3, 4, 5図はこの関係を示す図である。



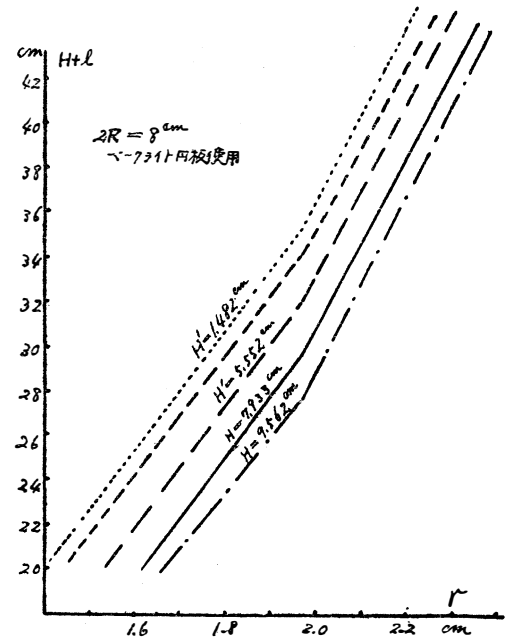
第2図 H' をパラメーターにした head と r の関係



第3図 H' をパラメーターにした head と r の関係



第4図 H' をパラメーターにした head と r の関係



第5図 H' をパラメーターにした head と r の関係

(B) 流量一定に保つて H' と r の関係

流量を一定にするため head から吹き出し口までの距離 $H+l=24\text{cm}$ (直径12cmのペークライト板

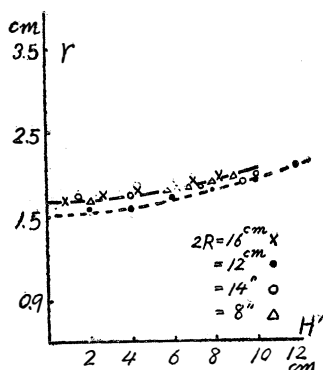
について) $H+l=26\text{cm}$ (直径19cm, 14cm, 8cmのベークライト板について) 第4図及第2, 3, 5図から求めると, 第1表, 第2表のようになる。之を図示すると第6図のようになる。

第 1 表

H'	r
cm	cm
2	1.57
4	1.64
6	1.71
8	1.80
10	1.92
12	2.06

第 2 表

r	$2R=16$ cm H'	$2R=8$ cm H'	$2R=14$ cm H'
cm	cm	cm	cm
2.0	9.4	10	
1.95	8.3	9	10.4
1.90	7.0	7.9	9.0
1.85	6.3	6.7	7.5
1.80	4.3	5.6	5.8
1.75	2.7	4.1	4.0
1.70	0.9	2.4	1.5

第 6 図 r と H' の関係

之より $H'=0$ にしたときの r_0 を図から求めると

$$r_0(2R=12\text{cm})=1.51\text{cm} \quad r_0(2R=16\text{cm})=1.65\text{cm} \quad r_0(2R=8\text{cm})=1.60\text{cm}$$

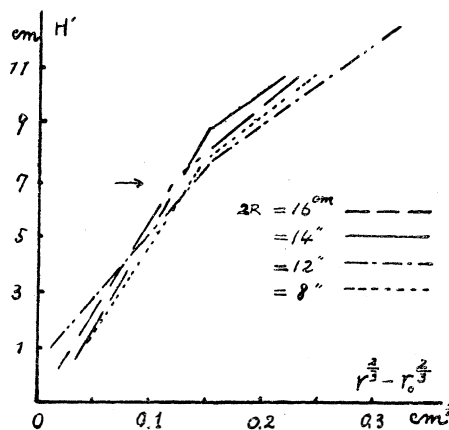
第 3 表

H'	$r^{2/3}-r_0^{2/3}$
cm	cm ^{2/3}
2	0.034
4	0.079
6	0.114
8	0.166
10	0.224
12	0.299

そこで1, 2表から H' と $r^{2/3}-r_0^{2/3}$ の関係を求めると第3, 4表のようになる。この表を図示すると第7図を得る。

第 4 表

$2R=16\text{cm}$		$2R=8\text{cm}$		$2R=14\text{cm}$	
H'	$r^{2/3}-r_0^{2/3}$	H'	$r^{2/3}-r_0^{2/3}$	H'	$r^{2/3}-r_0^{2/3}$
cm	cm ^{2/3}	cm	cm ^{2/3}	cm	cm ^{2/3}
9.4	0.191	10	0.220		
8.3	0.163	9	0.192	10.4	0.192
7.0	0.117	7.9	0.146	9.0	0.146
6.3	0.109	6.7	0.138	7.5	0.138
4.3	0.084	5.6	0.113	5.8	0.113
2.7	0.056	4.1	0.085	4.0	0.085
0.9	0.028	2.4	0.057	1.5	0.057



第 7 図

$2R$ をパラメーターとした H' と $r^{2/3}-r_0^{2/3}$ の関係

第7図から分ることは矢印のところで H' と $r^{2/3}-r_0^{2/3}$ の関係をあらわす比例常数が異なること及流量の値が比例常数値に關係があることが知られる。

(C) エボナイト円板の大きさと

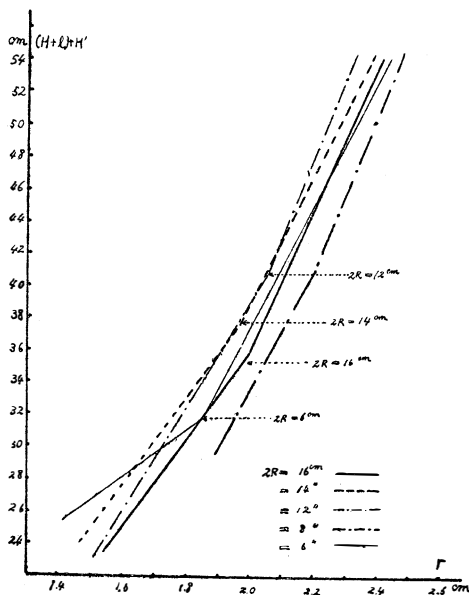
水円の半径の関係

第2, 3, 4, 5図から分る様に点線の位置で示される半径以上とそれ以下の半径とでは, head の変化による流量と水円の半径の関係が異なるようである。この有様は第8図の通りである。

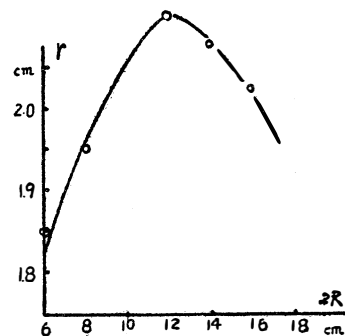
4. 実験結果の考察

(A) H' をparameterにした $H+l$ と r の関係

第2図から第5図まで点線の位置で夫々の線が急に屈曲するばかりでなく、如何なる H' の時にも屈曲する位置がだいたい同じ半径の点であることが $H' + (H+l) \sim r$ の図形を作ることによつて分る。そして第2, 3, 4, 5図の図形は第9図の夫々の線に総括される。従つて Jump によつて生ずる水円の半径はペークライト円板の大きさにより定まるように思う。



第9図 第2, 3, 4, 5図の結果より $(H+l) + H'$ と r の関係を求めた図



第8図 第2, 3, 4, 5図の curve の折れ点の半径と円板の直径の関係

(B) 流量一定にして H' と r の関係

第1, 第2, 第3, 第4表及第7図から分ることは H' と $r^{2/3} - r_0^{2/3}$ とが比例する。なお直径12cmのペークライト円板と、直径16cm, 14cm, 8cmのペークライト円板の場合の図に於て、前者の流量は少く後者の場合は流量が大である。そのため直線の勾配は前者が小で後者が大である。本図形は後者の流量は一定なるため、曲線勾配も一定である。

尙矢印の点でおよそ何れの曲線も勾配が急変する。これは水流がエボナイト板に達するまで重力の加速度により加速され、流れ方が異なるため流れ方の異なる限界を示すように思う。実際に吹出し口がこの限界を示す高さになると、板面に当る水は次第にばらけはじめる。

次に H' と流量半径と如何なる関係にあるかもとめるため、energy 不減則から次のようになる。

硝子管から毎秒出る流量 Q cc/sec, 管口より平板までの距離 H' , 位置 energy P , 運動 energy E とすれば次の係が成立する。

$$P = Q\rho g H' \quad (1)$$

一方流れが半径 r の点で dr なる変化をしたとき運動energy変化 dE は水の深さを h , 水が Jump する水の表面速度を U とすると、

$$dE = \frac{1}{4} \pi r h U^2 \rho dr \quad (2) \text{ (但し } dE \text{ の計算に平均速度を用う)}$$

この計算にあたって水円内の水の深さは、半径に殆んど関係せず一定である事が実験より知られたので、 $h = \text{一定}$ として計算した。この仮定と連続方程式とから速度 U は次式となる。

$$U = \frac{Q}{\pi r h} \quad (3)$$

種々の書物により知られる様に、Jump する点の水の速度は次の関係を満足していると仮定する⁽¹⁾。

$$U^2 = gh \quad (4)$$

(3) と (4) 式から U を消去して h を求め、(4) 式と共に (2) 式に代入し U , h を消去すると、

$$h = \frac{Q^{2/3}}{(\pi^2 g r^2)^{1/3}} \quad (5)$$

$$dE = \frac{1}{4\pi^{1/3}} \rho g^{2/3} Q^{4/3} \frac{dr}{r^{2/3}} \quad (6)$$

となる。

ここに於て $H' = 0$ の時生ずる水円の半径を r_0 とし (6) 式の積分を r_0 から r まで行ない、運動 energy を計算すると次式となる。

$$E = \frac{1}{4} \pi^{-1/3} \rho g^{1/3} Q^{4/3} \frac{3}{2} \{r^{2/3}\}_{r_0}^r \quad (7)$$

更に摩擦及熱 energy による消失が無いと仮定すると、位置 energy と運動 energy が等しい。

よつて (1), (7) 式から

$$H' = \frac{3}{8} \frac{1}{(\pi g^2)^{1/3}} Q^{1/3} (r^{2/3} - r_0^{2/3}) \quad (8)$$

となる。即ち H' と $r^{2/3} - r_0^{2/3}$ の関係を示す方向係数は流量の $1/3$ 乗に比例し流量のみの函数で、他の量は何れも一定量である。今もし流量を一定としてペークライト円板の直径を変えても係数は一定であらねばならない。この様に流量が変れば係数が変わることは、第7図が良く示している。

然し (8) 式から計算した比例常数は実験より求めたものと相異がある。これはペークライト円板面の摩擦、水の表面張力、及び次に示すペークライト円板の大きさによる影響のためと考えられる。

(C) ペークライト円板の大きさと水円の半径の関係

第2, 3, 4, 5 図から更に書換えられた第8図から分る様に、水円の半径はペークライト円板の直径がおよそ12cm程で最大となることを示している。なお第2, 3, 4, 5図を考慮すると、上述の事は流量に関係がないことを示す様に思う。そして然らばこの関係を示す曲線の形は、次の式で示される拋物線の式に近いことが知られた。

$$(y-a)^2 = c(b-x) \quad (9)$$

5. 結 言

水円の半径はペークライト円板面から herd までの高さの函数であり、ペークライト円板の大きさが水円の半径に影響を及ぼすことが分つた。更に詳細に見ると硝子管の吹き出し口からペークライト円板までの距離 H' は、水円の半径 r と $H' \propto r^{2/3} - r_0^{2/3}$ の関係にあり、この式の比例常数は流量の $1/3$ 乗に比例することが分つた。

以上の結果は定量的には不充分であるが定性的に理論式と実験結果とはかなり満足されているので、初め用いた (4) 式の仮定は充分認められる様に思う。

水の温度による関係は次の機会に論ずることにしたい。

参 考 文 献

- (1) Gibron : Hydraulics and its application 525p
- (2) 中川孝之 : 富山大学高岡工業専門学校紀要 25頁 (昭和25年)